

## Simulasi Kolom Distilasi Ekstraktif untuk Proses Dehidrasi Etanol Menggunakan Etilen Glikol-Glisерol

**Budi H. Bisowarno, Buana Girisuta, Philip Wijaya, Sussy**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan  
Jalan Ciumbuleuit No. 94, Bandung 40141 Telp 022 2032700

### *Abstract*

*Contemporary industrial development and rapid pace of transportation sector demand an environmentally sustainable energy sources. Compared to fossil fuels, bioethanol has more environmentally and economic strategic benefit as well as a safer and cleaner liquid fuel. Bioethanol production has been intensively investigated through hydrolysis and fermentation of biomass. However, there are still technical and economic challenges, especially the dehydration of ethanol to produce the fuel grade bioethanol. In this research, optimum operating conditions are determined for the extractive distillation column using a mixture of ethylene glycol and glycerol, which is simulated using ChemCad Simulation Software. Pure glycerol as an alternative solvent, which is the side product of biodiesel production, is also evaluated. As a mass separating agent, ethylene glycol and glycerol can extract water from the azeotropic mixture of ethanol-water, which is conducted using the extractive column. Therefore, the distillate of the extractive column is the fuel grade bioethanol (>99.5% and its bottom product is the mixture of ethylene glycol-glycerol-water. The solvent is then recovered in the recovery column.*

**Keywords:** ethanol dehydration, extractive distillation, steady state optimization

### **Pendahuluan**

Kebutuhan bahan bakar minyak bumi sebagai sumber energi terus meningkat sejalan dengan perkembangan kegiatan industri dan transportasi. Peningkatan kebutuhan minyak bumi tidak diimbangi dengan persediaannya yang semakin menipis. Selain itu, ketergantungan terhadap bahan bakar minyak bumi selama ini telah menyebabkan dampak lingkungan yang cukup signifikan, yaitu peningkatan temperatur global permukaan bumi yang akhirnya berpengaruh terhadap keseimbangan iklim. Karena itu, untuk tetap dapat memenuhi kebutuhan energinya, dunia industri dan transportasi memerlukan bahan bakar alternatif yang sifatnya dapat diperbaharui (*renewable*) dan lebih ramah lingkungan.

Salah satu bahan bakar alternatif yang memenuhi persyaratan tersebut adalah bioetanol, yang dapat menjadi bahan aditif maupun substitutif bagi bensin (*gasoline*). Di Indonesia, yang merupakan negara tropis, ketersediaan bahan baku bioetanol melimpah sehingga menjadikannya prospektif untuk dikembangkan lebih lanjut.

Bioetanol dihasilkan secara biologis dari proses fermentasi glukosa. Meskipun proses pembuatannya tidak sulit, namun bioetanol yang dihasilkan dari proses fermentasi memiliki kemurnian yang rendah, berkisar antara 11,5-12,5% (Elvers, 2008). Padahal, untuk dapat memenuhi spesifikasi bahan bakar kendaraan bermotor (*fuel grade ethanol*), bioetanol

harus memiliki kemurnian mencapai 99,5%. Karena itu, proses pemurnian bioetanol menjadi hal yang sangat penting. Secara konvensional, bioetanol dapat dimurnikan melalui proses distilasi biasa hingga mencapai kemurnian 95%. Untuk meningkatkan kemurniannya hingga memenuhi kualitas bahan bakar, tidak dapat dilakukan dengan proses distilasi biasa karena masalah terbentuknya azeotrop etanol-air. Salah satu proses alternatif yang dapat menjadi solusi bagi permasalahan tersebut adalah proses distilasi ekstraktif, yang menggunakan *solvent* untuk memecah azeotrop.

Penelitian ini bertujuan untuk dilakukan melakukan pemodelan dan simulasi proses distilasi ekstraktif dengan bantuan *ChemCad Simulation Software* untuk menentukan konfigurasi kolom dan kondisi operasi optimum, di mana dihasilkan etanol dengan kemurnian 99,5% (Hambali dkk, 2007), yang memenuhi standar bahan bakar (*fuel grade ethanol*).

### **Landasan Teori**

Bioetanol terbuat dari bahan-bahan alam hasil pertanian, seperti: pati, sagu, molase, jagung, dsb. Indonesia, memiliki kekayaan alam yang melimpah dan iklim yang cocok untuk tumbuhnya tanaman-tanaman bahan baku bioetanol tersebut, sehingga tidak

perlu bergantung terhadap negara lain untuk memproduksi bioetanol.

Keunggulan bioetanol jika dibandingkan dengan bensin, antara lain: bersifat lebih ramah lingkungan, karena mudah diuraikan secara biologis (*biodegradable*) dan diproduksi melalui proses yang lunak, yaitu fermentasi glukosa; tingkat emisi gas-gas rumah kaca hasil pembakaran bioetanol lebih rendah karena etanol memiliki satu molekul OH di dalam susunan molekulnya, di mana oksigen yang terdapat di dalam molekul tersebut membantu berlangsungnya pembakaran sempurna sehingga polusi udara akibat gas CO dapat direduksi; efisiensi pembakaran pada mesin-mesin berbahan bakar etanol lebih tinggi daripada mesin-mesin berbahan bakar bensin karena bioetanol memiliki angka oktan yang lebih tinggi (*research octane* bioetanol = 108,6 sedangkan *research octane* bensin = 88).

Ada berbagai macam proses untuk pembuatan etanol di industri, antara lain: hidrasi etilen, fermentasi glukosa, atau sebagai produk samping dari proses lain. Meskipun demikian, kadar etanol yang dihasilkan dari proses ini masih belum memenuhi syarat sebagai bahan bakar (99,5%), sehingga diperlukan proses lanjut untuk meningkatkan kemurniannya. Untuk memperoleh etanol dengan standar kemurnian sebagai bahan bakar tidak dapat dilakukan dengan proses distilasi biasa, karena terbentuknya campuran azeotrop etanol-air. Pemisahan etanol dengan distilasi biasa hanya akan menghasilkan etanol dengan kemurnian 97,2 %-v.

Salah satu proses alternatif untuk meningkatkan kemurnian etanol adalah distilasi ekstraktif. Prinsip dasar dari distilasi ekstraktif adalah dengan menambahkan suatu zat (*solvent*) tertentu ke dalam campuran azeotrop, tanpa menyebabkan terbentuknya titik azeotrop baru (Huang dkk, 2008). *Solvent* bersifat relatif tidak mudah menguap sehingga keluar sebagai produk bawah bersama dengan komponen pengotor yang kurang volatile dan memiliki titik didih antara 50–100°C lebih tinggi daripada campuran yang hendak dipisahkan. Kriteria *solvent* yang baik, antara lain: memiliki selektivitas tinggi, murah dan mudah diperoleh, tidak beracun, tidak korosif, stabil secara kimia, titik beku rendah untuk kemudahan penyimpanan, dan viskositas rendah untuk memberikan efisiensi *tray* yang tinggi (Treybal, 1981). *Solvent* yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran etilen glikol-gliserol, yang mana gliserol dapat dimanfaatkan dari produk samping pembuatan biodiesel. Etilen glikol dan gliserol mengeliminasi titik azeotrop dengan memperlebar perbedaan volatilitas dari masing-masing campuran

#### Metodologi

Pada tahap awal penelitian, dilakukan studi literatur untuk mempelajari sifat-sifat fisik dan kimia semua

bahan yang terlibat dalam proses, yaitu etanol dan gliserol. Bersamaan dengan studi literatur, dilakukan pula studi *simulator software* yang digunakan.

Selanjutnya, pembuatan model dilakukan sesuai dengan model literatur, dan dilakukan validasi model tersebut hingga diperoleh struktur model yang tepat dan siap disimulasikan. Data-data dan diagram alir proses yang digunakan untuk validasi model dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1.

**Tabel 1. Data Kondisi Operasi dan Konfigurasi Kolom untuk Validasi Model (Gil dkk., 2005)**

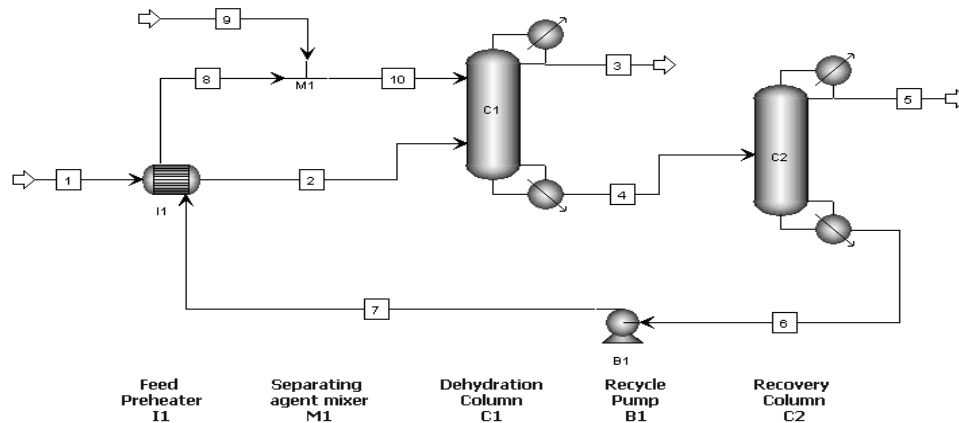
Kondisi Operasi	
Tekanan kolom ekstraktif, (mmHg)	760
Tekanan kolom <i>recovery</i> , (mmHg)	150
Temperatur umpan azeotrop, (°C)	20
Temperatur solvent masukkan, Ts (°C)	75
Laju alir umpan azeotrop, F (kmol/h)	100
Laju alir solvent, (kmol/h)	80
Laju alir distilat kolom ekstraktif, D (kmol/h)	86,8
Fraksi mol solvent etilen glikol	0,6
Fraksi mol solvent gliserol	0,4
Rasio refluks dalam kolom ekstraktif	0,5
Rasio refluks dalam kolom <i>recovery</i>	0,92
Rasio solvent-umpan, S/F	0,8
Konsumsi energi, (kJ/kg etanol)	1797
Konsumsi energi pada kolom <i>recovery</i> , (kJ/kg etanol)	221
Konsumsi energi total dari dua kolom, (kJ/kg etanol)	2018
Energi yang dikembalikan pada aliran ke 7, (kJ/kg etanol)	398
Konsumsi energi netto, (kJ/kg etanol)	1620

Konfigurasi Kolom	
Jumlah tahap teoritik kolom ekstraktif	20
Jumlah tahap teoritik kolom <i>recovery</i>	8
Tahap umpan azeotrop masuk kolom ekstraktif	12
Tahap solvent masuk kolom ekstraktif	4
Tahap solvent + air masuk kolom <i>recovery</i>	4

Setelah diperoleh struktur model yang tepat, kemudian simulasi proses dilakukan dengan memvariasikan beberapa variabel proses, antara lain:

1. Variasi umpan (etanol-air), yaitu dengan memvariasikan temperatur umpan, laju alir umpan, dan kemurnian etanol pada umpan.
2. Variasi kondisi operasi, yaitu dengan memvariasikan rasio refluks.
3. Variasi konfigurasi kolom, yaitu dengan memvariasikan jumlah tahap, dan tahap tempat umpan masuk.

Variasi variable-variabel tersebut dilakukan untuk mempelajari pengaruhnya terhadap kemurnian etanol yang dihasilkan, sehingga kondisi operasi dan konfigurasi kolom optimum dapat ditentukan.

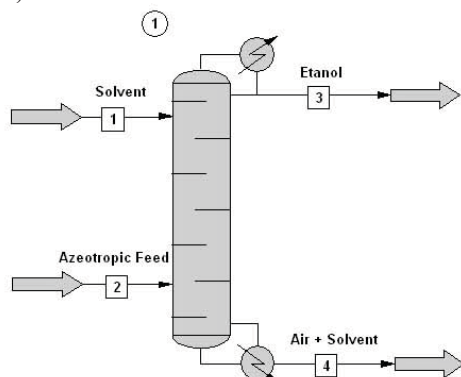


**Gambar 1.** Diagram alir proses distilasi ekstraktif menggunakan *solvent* berupa campuran glikol

### Hasil dan Pembahasan

Model kolom distilasi ekstraktif dipilih berdasarkan asumsi terjadi kesetimbangan fasa uap-cair di setiap tahap dan model termodinamika yang digunakan adalah NRTL (Gil dkk., 2005). Konsep rancangan kolom distilasi ekstraktif untuk validasi model dapat dilihat pada Gambar 2.

Kolom distilasi ekstraktif terdiri dari 20 tahap dan menggunakan 2 umpan: *solvent* (campuran etilen glikol dan gliserol) serta campuran azeotrop etanol-air, yaitu pada 89%-mol etanol. *Solvent* masuk pada tahap ke-4, sedangkan umpan azeotrop masuk pada tahap ke-12. Karena pada literatur tidak disebutkan besarnya *pressure drop* ( $\Delta P$ ) di sepanjang kolom, maka validasi dilakukan dua kali dengan kondisi kolom yang berbeda. Pada validasi pertama, kolom disimulasikan tanpa  $\Delta P$  di sepanjang kolom, sedangkan pada validasi kedua, kolom disimulasikan dengan adanya  $\Delta P$  di sepanjang kolom. Asumsi  $\Delta P$  yang terjadi di sepanjang kolom ekstraktif adalah sebesar 75 mmHg. Asumsi ini didasarkan atas tinjauan pada literatur lain, di mana suatu kolom distilasi dengan 20 tahap memiliki  $\Delta P$  sebesar 75 mmHg (Cairns and Furzer, 1990).



**Gambar 2.** Rancangan kolom distilasi ekstraktif untuk validasi

Hasil validasi model kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi model literatur, yaitu harga kemurnian etanol yang keluar sebagai distilat. Perbandingan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

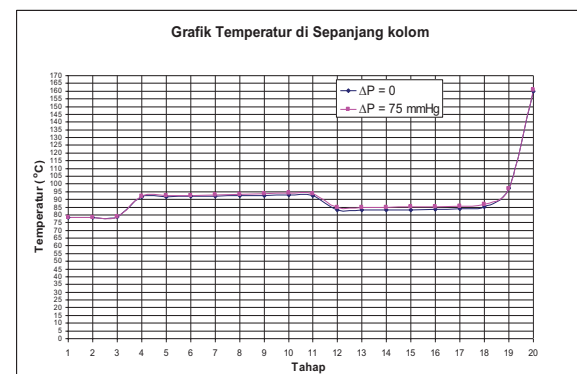
**Tabel 2.** Perbandingan Kemurnian Etanol Hasil Validasi dengan Literatur

Literatur	Validasi ( $\Delta P = 0$ )	Validasi ( $\Delta P = 75 \text{ mmHg}$ )
99,926%-mol	99,5549%-mol	99,5562%-mol

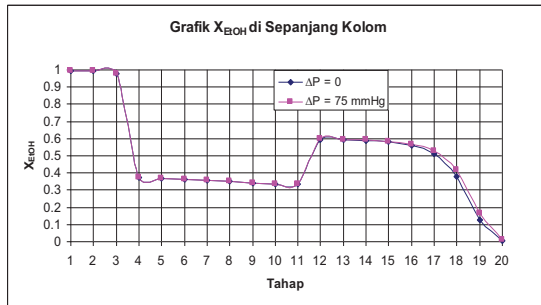
Dari hasil validasi, baik saat ada atau tidaknya *pressure drop*, terlihat bahwa kemurnian etanol yang dihasilkan tidak berbeda jauh dengan hasil simulasi dari literatur, sehingga proses validasi model untuk keduanya dapat dikatakan *valid*.

Profil temperatur sepanjang kolom ekstraktif dapat dilihat pada Gambar 3. Baik saat ada atau tidaknya  $\Delta P$ , profil temperatur yang dihasilkan memiliki bentuk dan kecenderungan yang serupa.

Demikian pula dengan profil fraksi mol etanol di sepanjang kolom memiliki bentuk dan kecenderungan yang serupa, baik saat ada atau tidak adanya  $\Delta P$ . Profil tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

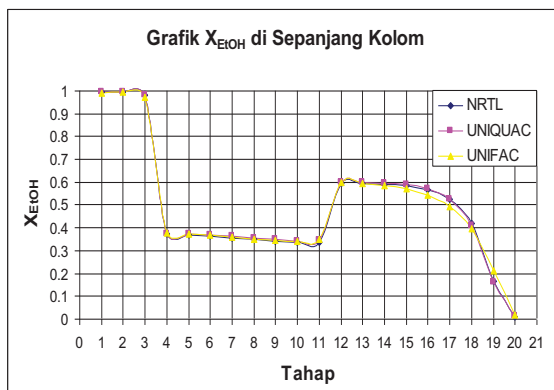


**Gambar 3.** Profil temperatur di sepanjang kolom



**Gambar 4.** Profil fraksi mol etanol di sepanjang kolom

Selanjutnya dilakukan variasi model termodinamika pada kolom yang dioperasikan dengan adanya  $\Delta P$ . Model termodinamika yang hendak dipelajari pengaruhnya, yakni: NRTL, UNIQUAC, dan UNIFAC. Pengaruh model termodinamika terhadap kemurnian etanol dapat dilihat pada Gambar 5. Sementara fraksi mol etanol yang diperoleh pada berbagai model termodinamika dapat dilihat pada Tabel 3.

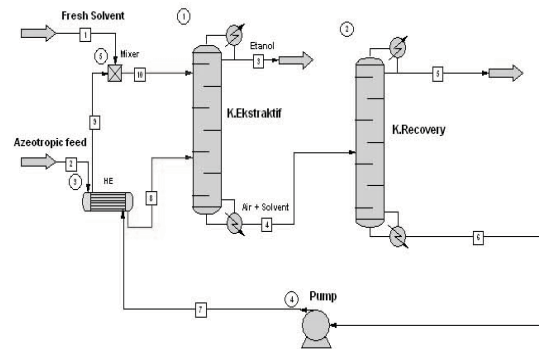


**Gambar 5.** Profil fraksi mol etanol di sepanjang kolom pada berbagai model termodinamika

**Tabel 3.** Fraksi mol Etanol pada Berbagai Model Termodinamika

MODEL	NRTL	UNIQUAC	UNIFAC
$X_{EtOH}$ (%-mol)	99,5562	99,7328	99,2702

Pada tahap simulasi, diagram alir proses keseluruhan melibatkan dua kolom distilasi, pompa, *heat exchanger*, dan *mixer*. Kolom yang digunakan terdiri dari kolom ekstraktif dan kolom *recovery*. *Pressure drop* untuk kolom ekstraktif dan kolom *recovery* diasumsikan berturut-turut sebesar 75 mmHg dan 34 mmHg. Diagram alir untuk tahap simulasi dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Diagram alir proses pada tahap simulasi

Variabel proses yang divariasikan pada tahap simulasi ini, antara lain:

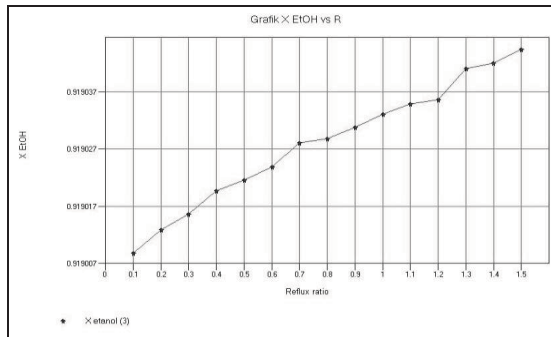
1. Kondisi operasi: rasio refluks.
2. Kondisi umpan: temperatur, laju alir, dan fraksi mol etanol di umpan.
3. Konfigurasi kolom: jumlah tahap dan *feed stage*.

Variasi variabel ini kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kemurnian etanol yang dihasilkan.

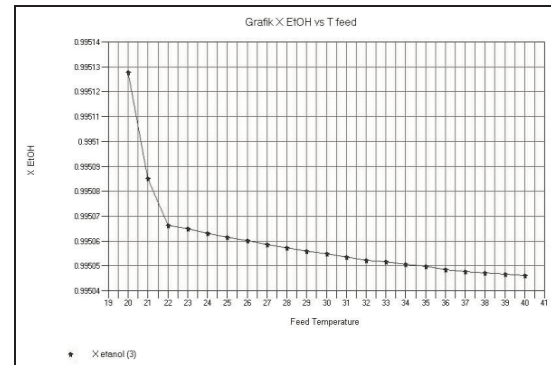
Setelah program dijalankan sesuai dengan data yang tertera pada Tabel 1, diperoleh kemurnian etanol di bagian distilat sebesar 91,8987%-mol. Hal ini tidak memenuhi syarat kemurnian etanol untuk bahan bakar. Oleh karena itu, spesifikasi kondensor diubah dari rasio refluks ( $R$ ) sebesar 0,5 menjadi  $X_{EtOH}=0,995$ . Kemudian program dijalankan lagi dan diperoleh kemurnian etanol sebesar 0,995 dengan  $R$  sebesar 1,122. Selanjutnya spesifikasi kondensor diubah lagi menjadi  $R=1,122$  dan program dijalankan sehingga diperoleh kemurnian etanol di bagian distilat sebesar 99,5013%-mol. Sehingga terdapat dua *flowsheet*, di mana pada *flowsheet* pertama dan kedua berturut-turut digunakan rasio refluks sebesar 0,5 dan 1,122.

### Pengaruh Kondisi Operasi

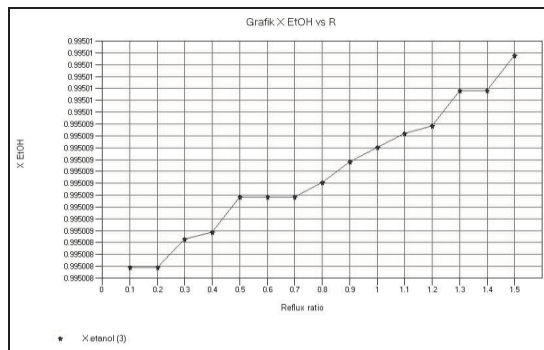
Kondisi operasi yang divariasikan adalah rasio refluks, karena variabel ini berpengaruh terhadap biaya operasi. Rentang rasio refluks yang divariasikan untuk simulasi adalah 0,1 hingga 1,5. Untuk *flowsheet* pertama, pengaruh rasio refluks terhadap kemurnian etanol dapat dilihat pada Gambar 7(a), sedangkan untuk *flowsheet* kedua dapat dilihat pada Gambar 7(b).



**Gambar 7(a).** Profil pengaruh rasio refluks terhadap kemurnian etanol (*flowsheet pertama*)



**Gambar 8.** Profil pengaruh temperatur umpan terhadap kemurnian etanol



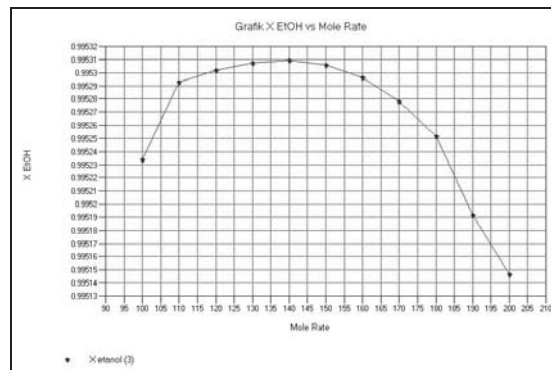
**Gambar 7(b).** Profil pengaruh rasio refluks terhadap kemurnian etanol (*flowsheet kedua*)

Pada kedua profil tersebut, semakin besar rasio refluks, kemurnian etanol semakin meningkat. Selain itu, pada kondisi operasi yang sama (saat R tertentu),  $X_{EtOH}$  yang dihasilkan berbeda. Kondisi seperti ini dinamakan dengan *output multiplicity*. *Output multiplicity* terjadi karena adanya perbedaan kondisi awal (*initial estimate*) (Baharev dkk, 2009), yaitu spesifikasi kondensor awal berturut-turut untuk *flowsheet* pertama dan kedua berupa rasio refluks sebesar 0,5 dan 1,122.

Jika rasio refluks semakin besar, maka etanol yang dihasilkan semakin murni, tetapi membutuhkan *condensor duty* yang semakin besar. Karena kemurnian yang dihasilkan saat rasio refluks sebesar 1,5 tidak berbeda jauh dengan saat rasio refluks sebesar 0,1, maka akan lebih menguntungkan jika menggunakan kolom dengan rasio refluks sebesar 0,1 sehingga *condensor duty* dapat diminimalkan.

### Pengaruh Kondisi Umpan

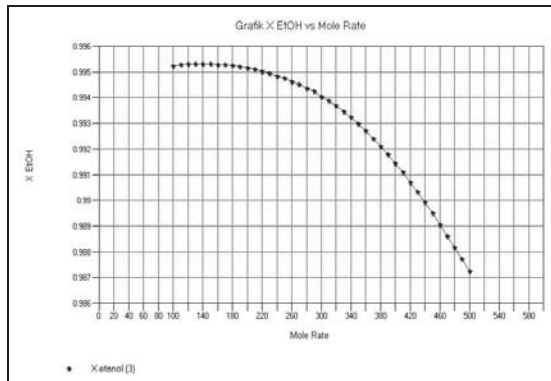
Variasi kondisi umpan hanya dilakukan pada *flowsheet* kedua. Kondisi umpan yang hendak dianalisis pengaruhnya adalah temperatur, laju alir, dan fraksi mol etanol di umpan. Rentang perubahan temperatur yang divariasikan adalah 20–40°C. Profil temperatur terhadap kemurnian etanol dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 9.** Profil pengaruh laju alir umpan terhadap kemurnian etanol

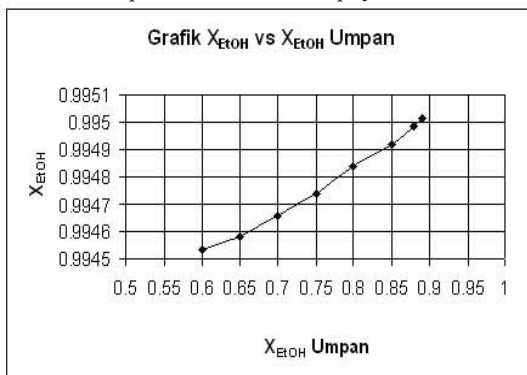
Jika laju alir umpan diubah hingga 500 kmol/jam, hal yang sama terjadi yaitu kemurnian meningkat perlahan, lalu menurun lagi. Hingga laju alir 220 kmol/jam, kemurnian etanol masih mencapai 99,5%. Di atas 220 kmol/jam, kemurnian etanol menurun dan tidak memenuhi standar kemurnian bahan bakar. Penurunan kemurnian etanol disebabkan oleh perbesaran laju alir umpan tidak dibarengi dengan penambahan *solvent* sehingga sebagian air masih terikat dengan etanol sementara *solvent* telah habis.





**Gambar 10.** Profil pengaruh laju alir umpan terhadap kemurnian etanol

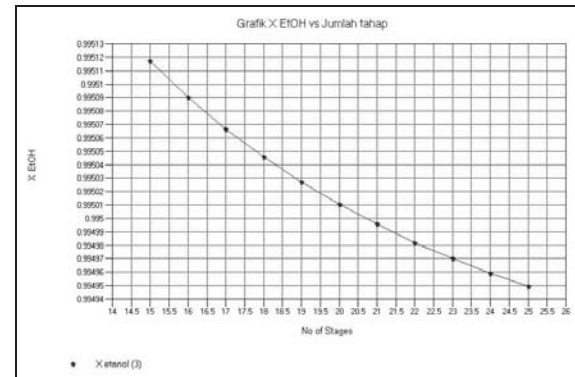
Pengaruh fraksi mol etanol di umpan terhadap kemurnian etanol yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 11. Saat fraksi mol etanol diumpan diperkecil, kemurnian etanol di distilat semakin berkurang, sehingga untuk mencapai kemurnian produk etanol minimum sebesar 99,5%-mol, maka umpan etanol harus berada pada kondisi azeotropnya.



**Gambar 11.** Profil pengaruh fraksi mol etanol di umpan terhadap kemurnian etanol

### Pengaruh Konfigurasi Kolom

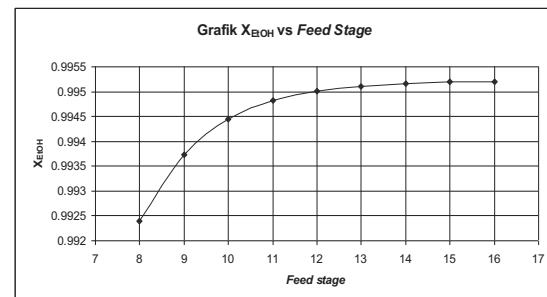
Variasi konfigurasi kolom hanya dilakukan pada *flowsheet* kedua. Variasi yang dilakukan adalah jumlah tahap dan posisi umpan masuk (*feed stage*). Untuk jumlah tahap, variasi dilakukan pada rentang 15–25. Pengaruh jumlah tahap terhadap kemurnian etanol dapat dilihat pada Gambar 12.



**Gambar 12.** Profil pengaruh jumlah tahap terhadap kemurnian etanol

Semakin sedikit jumlah tahap, kemurnian etanol yang dihasilkan semakin tinggi. Untuk jumlah tahap yang lebih besar dari 20, kemurnian etanol lebih kecil dari 99,5% sehingga tidak ekonomis lagi. Dari hasil simulasi, jumlah tahap terbaik adalah 15 dengan pertimbangan ekonomi.

Posisi umpan masuk juga dianalisis pengaruhnya terhadap kemurnian etanol. Rentang variasi posisi umpan masuk adalah dari tahap ke-8 hingga tahap ke-16 pada kolom dengan jumlah tahap sebanyak 20 tahap. Pengaruhnya dapat dilihat pada Gambar 13.



**Gambar 13.** Profil pengaruh *feed stage* terhadap kemurnian etanol

Dari Gambar 13, terlihat bahwa jika posisi umpan masuk sebaiknya semakin menjauhi posisi *solvent* masuk atau semakin mendekati *reboiler* sehingga diperoleh kemurnian etanol yang semakin tinggi. Untuk mencapai kemurnian etanol 99,5%, umpan sebaiknya masuk pada tahap ke-12.

Dari keseluruhan simulasi yang dilakukan, akhirnya dapat ditentukan kondisi operasi dan konfigurasi kolom optimum untuk proses dehidrasi etanol dengan distilasi ekstraktif. Data-data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Kondisi Operasi dan Konfigurasi Kolom Optimum Proses Dehidrasi Etanol dengan Distilasi Ekstraktif**

Variabel	Nilai
Jumlah tahap	15
Feed stage	12
Rasio refluks	0,1
Condensor duty (kJ/jam)	4,379130 e+06
Reboiler duty (kJ/jam)	7,35692 e+06
$X_{EtOH}$ (%-mol)	99,5011

#### Pengaruh Perubahan Solvent

Selanjutnya dengan menggunakan kondisi operasi seperti pada *flowsheet* kedua, perubahan dilakukan terhadap solvent yang digunakan dari campuran etilen glikol dan gliserol menjadi gliserol murni. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah terdapat peluang untuk dilakukan integrasi dengan *plant* biodiesel atau tidak, yang mana menghasilkan produk samping berupa gliserol sebanyak 10% dari biodiesel yang dihasilkan.

Dari hasil simulasi menggunakan solvent berupa gliserol murni, diperoleh kemurnian etanol sebesar 99,63188%-mol. Jadi apabila solvent diganti dengan gliserol murni, maka etanol hasil distilasi ekstraktif dengan kondisi operasi yang sama saat menggunakan solvent campuran etilen glikol dan gliserol dapat digunakan untuk bahan bakar.

#### Kesimpulan

1. Dehidrasi etanol untuk bahan bakar dapat dihasilkan dari proses distilasi ekstraktif dengan solvent berupa campuran etilen glikol dan gliserol.
2. Pengaruh perubahan rasio refluks yaitu semakin besar rasio refluks, kemurnian etanol yang diperoleh semakin tinggi, tetapi perubahannya hanya terjadi di sekitar 91,9%-mol untuk *flowsheet* pertama dan 99,5%-mol untuk *flowsheet* kedua, sehingga dapat dikatakan konstan.
3. Pada distilasi ekstraktif terjadi *output multiplicity* yaitu saat kondisi operasi sama (saat R tertentu), dihasilkan  $X_{EtOH}$  yang berbeda.
4. Pengaruh perubahan kondisi umpan untuk perubahan temperatur umpan tidak terlihat adanya perubahan yang signifikan terhadap kemurnian etanol yang diperoleh, hal ini disebabkan karena adanya *heat exchanger*.
5. Umpan dengan temperatur lingkungan dapat digunakan pada distilasi ekstraktif ini.
6. Pengaruh perubahan kondisi umpan untuk perubahan laju alir umpan, saat laju alir umpan dinaikkan terjadi kenaikan pada kemurnian etanol yang diperoleh sampai titik maksimumnya, tetapi jika laju alir umpan dinaikkan lagi maka kemurnian etanol yang diperoleh akan berkurang.

7. Pengaruh perubahan kondisi umpan untuk perubahan  $X_{EtOH}$  di umpan, saat  $X_{EtOH}$  di umpan diperkecil,  $X_{EtOH}$  yang dihasilkan pada bagian distilat semakin berkurang.
8. Pengaruh perubahan konfigurasi kolom untuk perubahan jumlah tahap, semakin sedikit jumlah tahap dalam kolom ekstraktif, kemurnian etanol yang diperoleh semakin tinggi.
9. Pengaruh perubahan konfigurasi kolom untuk perubahan tahap tempat umpan azeotrop masuk, jika letak tahap tempat umpan azeotrop masuk semakin mendekati *reboiler* maka  $X_{EtOH}$  yang diperoleh akan semakin tinggi.
10. Solvent berupa campuran etilen glikol dan gliserol dapat diubah dengan gliserol murni, sehingga membuka peluang untuk integrasi dengan *plant* biodiesel.
11. Konfigurasi kolom yang optimum yaitu pada jumlah tahap sebanyak 15 dan umpan masuk pada tahap ke-12.
12. Kondisi operasi yang optimum yaitu pada rasio refluks sebesar 0,1 dan *reboiler duty* sebesar 7,35692 e+06 kJ/jam.

#### Daftar Pustaka

1. Baharev, Ali, Achterberg, Tobias, Rev, Endre, 2009, Computation of An Extractive Distillation Column With Affine Arithmetic, *AIChE Journal*, 55(7), 1695-1704.
2. Cairns, B.P., Furzer, I.A., 1990, Multicomponent Three-Phase Azeotropic Distillation. 3. Modern Thermodynamic Models and Multiple Solutions, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 29, 1383-1395.
3. Elvers, B., 2008, *Handbook of Fuels*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Germany.
4. Gil, I.D., Uyazan, A.M., Aguilar, J.L., Rodríguez, G., Caicedo, L.A., 2005, *Simulation of Ethanol Extractive Distillation with A Glycols Mixture as Entrainer*. [http://www.enpromer2005.eq.ufrj.br/nukleo/pdfs/1141\\_simulation\\_of\\_ethanol\\_extractive\\_distillation\\_with\\_a\\_glycols\\_mixture\\_as\\_entrainer.pdf](http://www.enpromer2005.eq.ufrj.br/nukleo/pdfs/1141_simulation_of_ethanol_extractive_distillation_with_a_glycols_mixture_as_entrainer.pdf), 8 Februari 2009.
5. Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A.H., Pattiwiri, A.W., Hendroko, R., 2007, *Teknologi Bioenergi*, AgroMedia Pustaka, Jakarta.
6. Huang, H.J., Ramaswamy, S., Tschirner, U.W., Ramarao, B.V., 2008, A Review of Separation Technologies in Current and Future Biorefineries, *Separation and Purification Technology*, 62, 1-21.
7. Treybal, R.E., 1981, *Mass-Transfer Operations*, 3<sup>rd</sup> edition, McGraw-Hill International, Singapore.